

07.10.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 9 月 3 0 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 4 2 4 7 0
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 4 2 4 7 0]

出 願 人 T D K 株 式 会 社
Applicant(s):

REC'D 02 DEC 2004

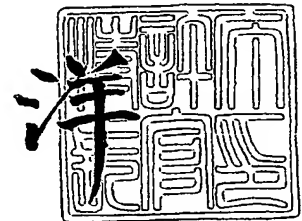
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 1 月 1 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 1 0 4 6 2 5

【書類名】 特許願
【整理番号】 99P06061
【提出日】 平成15年 9月30日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H02F 10/16
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 崔 京九
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 村瀬 琢
【特許出願人】
 【識別番号】 000003067
 【氏名又は名称】 T D K株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100117226
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 吉村 俊一
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 176752
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

C o 系非晶質合金層と、当該 C o 系非晶質合金の自然酸化層とからなる多層膜であって、当該多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合が 5 ～ 50 %であることを特徴とする高周波用磁性薄膜。

【請求項 2】

成膜時における磁場印加方向が磁化容易軸となる性質をもつ C o 系非晶質合金層と、当該 C o 系非晶質合金の自然酸化層とからなる多層膜であって、作製された多層膜の磁化容易軸が、当該多層膜の成膜時における磁場印加方向と直交することを特徴とする高周波用磁性薄膜。

【請求項 3】

前記 C o 系非晶質合金層が C o Z r N b 合金で形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項 4】

比抵抗が $150 \mu \Omega \text{cm}$ 以上であり、異方性磁界が 1000 e 以上であることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項 5】

強磁性共鳴周波数が 2 GHz 以上であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項 6】

C o 系非晶質合金層と当該 C o 系非晶質合金の自然酸化層とからなる多層膜を印加磁場中で作製する高周波用磁性薄膜の作製方法であって、

前記多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合が 5 ～ 50 % の範囲内となるように成膜することを特徴とする高周波用磁性薄膜の作製方法。

【請求項 7】

前記 C o 系非晶質合金層が C o Z r N b 合金で形成されることを特徴とする請求項 6 に記載の高周波用磁性薄膜の作製方法。

【請求項 8】

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の高周波用磁性薄膜、又は、請求項 6 又は 7 に記載の方法で作製された高周波用磁性薄膜、を一部に有することを特徴とする磁気素子。

【請求項 9】

前記高周波用磁性薄膜がコイルを挟持するように対向配置されていること、インダクタ又はトランスに使用されること、及び、モノリシックマイクロ波集積回路に使用されること、のいずれかであることを特徴とする請求項 8 に記載の磁気素子。

【書類名】明細書

【発明の名称】高周波用磁性薄膜、その作製方法及び磁気素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、GHz帯の高周波領域で利用される高周波用磁性薄膜、その作製方法及びその高周波用磁性薄膜を有する磁気素子に関し、さらに詳しくは、薄膜インダクタや薄膜トランス等の高周波用の平面型磁気素子やモノリシックマイクロ波集積回路（以下、MMICと略す。）等に好ましく用いられる高周波用磁性薄膜等に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年の磁気素子の小型化及び高性能化への要求に伴い、GHz帯域で高い透磁率を示す磁性薄膜材料が求められている。

【0003】

例えば、ワイヤレス送受信装置や携帯情報端末を中心に需要が高まっているMMICは、Si、GaAs又はInP等の半導体基板上に、トランジスタ等の能動素子と、線路、抵抗、キャパシタ、インダクタ等の受動素子とを、一括的且つ一体的に作製して構成される高周波集積回路であるが、このMMICにおいては、特にインダクタやキャパシタ等の受動素子が能動素子に比べて大きな面積を占めている。MMICにおける受動素子の大面积の占有は、結果として高価な半導体基板の大量消費、すなわちMMICのコストアップにつながることになる。MMICの製造コストを低減するためにはチップ面積を縮小することが必要であるが、そのためには、受動素子が占める面積を縮小することが課題となっている。

【0004】

上述したMMICには、平面型のスパイラルコイルがインダクタとして多く用いられている。こうした平面型のスパイラルコイルにおいては、小さな占有面積でも従来同様のインダクタンスを得るために、その上下面又は片面に軟磁性薄膜を設けることによるインダクタンスの増加が図られている（例えば、非特許文献1を参照）。しかし、磁性材料をMMICのインダクタに応用するためには、先ず、GHz帯域における透磁率が高く且つ高周波損失が少ない軟磁性薄膜材料を開発することが求められている。さらに、高周波での渦電流損失を減らすため、比抵抗が大きいことも求められている。

【0005】

高い飽和磁化を持つ磁性材料として、Fe又はFeCoを主成分とする合金がよく知られている。しかし、Fe系又はFeCo系合金からなる磁性薄膜をスパッタ等の成膜技術により作製すると、得られた膜は飽和磁化が高いものの、膜の保磁力が大きく、また、比抵抗が小さくなってしまい、良好な高周波特性を得ることは困難であった。

【0006】

一方、軟磁気特性に優れる材料として、Co系非結晶質合金が知られている。このCo系非結晶質合金は、Coを主成分とし、Y、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta等から選択される1種又は2種以上の元素を含む非結晶質を主体とするものである。しかし、ゼロ磁歪組成のCo系非結晶質合金の磁性薄膜をスパッタ等の成膜技術により作製すると、得られた膜は透磁率が高いものの、飽和磁化が11kG（1.1T）程度であり、飽和磁化がFe系材料に比べて小さいという難点がある。さらに、100MHz程度の周波数を超えてからの損失成分（透磁率の虚数部 μ'' ）が大きくなり、高周波帯域で使用する磁性材料としては好適とはいえなかった。

【0007】

このような従来からの実情のもとに、軟磁性薄膜の高周波特性を改良するための種々の提案がなされている。その改良の基本方針としては、渦電流損失の抑制や共鳴周波数の上昇等が挙げられている。渦電流損失を抑制させる具体的な方策としては、例えば、0.01 μ m～0.3 μ mのCo系非結晶質合金層と0.02 μ m～0.25 μ mの絶縁層との積層による多層化（例えば、特許文献1及び非特許文献2、3を参照）が提案されている。

【0008】

軟磁気特性に優れる Co 系非結晶質合金を用いて GHz 帯のインダクタの実現を図ったものとして、磁性薄膜を磁化容易軸に平行な辺を長手方向とする短冊にマイクロパターン化し、形状磁気異方性エネルギーを増大させて共鳴周波数を高周波側にシフトさせる試みが行われている（例えば、非特許文献 4 を参照）。

【非特許文献 1】 J. Appl. Phys., 85, 7919 (1999)

【非特許文献 2】 日本応用磁気学会誌、16, 291 (1992)

【非特許文献 3】 日本応用磁気学会誌、17, 489 (1993)

【非特許文献 4】 日本応用磁気学会誌、24, 879 (2000)

【特許文献 1】 特開平 7-249516 号公報（第 1 頁）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記の特許文献 1 及び非特許文献 2, 3 で提案された方法では、MHz 帯域での応用の可能性はあるものの、GHz 帯域で使用する磁性薄膜としては好適とはいえなかった。

【0010】

また、上記の非特許文献 4 で提案された方法では、マイクロパターン化により異方性磁界を 400 e 程度にまで挙げることができるので、共鳴周波数を GHz 帯域まで挙げることができたが、短冊状のマイクロパターンを複雑なフォトリソグラフィ工程で作製することが必要であるという難点がある。

【0011】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであって、その第 1 の目的は、GHz 帯域の高周波領域で利用できる高周波用磁性薄膜を提供することにある。本発明の第 2 の目的は、そうした特性を有する高周波用磁性薄膜の作製方法を提供することにある。本発明の第 3 の目的は、GHz 帯域での高周波特性のよい高周波用磁性薄膜を用いた磁気素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明者は、軟磁気特性を有する Co 系非晶質合金を利用した高周波用磁性薄膜についての研究を行っている過程で、Co 系非晶質合金層とその Co 系非晶質合金の自然酸化層とで多層化した場合に異方性磁界が現れることを見出し、その大きな異方性磁界を利用した高周波用磁性薄膜の研究をさらにに行った結果、多層膜全体に対する自然酸化層の体積が所定の範囲内にある場合に大きな異方性磁界が現れ、GHz 帯域での高周波特性に優れる磁性薄膜が得られることを知見した。

【0013】

上記第 1 の目的を達成する本発明の高周波用磁性薄膜は、前記の知見に基づいてなされたものであって、Co 系非晶質合金層と、当該 Co 系非晶質合金の自然酸化層とからなる多層膜であって、当該多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合が 5 ~ 50 %であることを特徴とする。

【0014】

本発明によれば、上記構成からなる多層膜には高い比抵抗と高い異方性磁界が現れるので、GHz 帯域での高周波特性に優れた磁性薄膜となる。

【0015】

また、上記第 1 の目的を達成する本発明の高周波用磁性薄膜は、前記の知見に基づいてなされたものであって、成膜時における磁場印加方向が磁化容易軸となる性質をもつ Co 系非晶質合金層と、当該 Co 系非晶質合金の自然酸化層とからなる多層膜であって、作製された多層膜の磁化容易軸が、当該多層膜の成膜時における磁場印加方向と直交することを特徴とする。

【0016】

Co 系非晶質合金層は、通常、成膜時における磁場印加方向が磁化容易軸となる性質を

もつが、この発明によれば、C o系非晶質合金層とその自然酸化層とで多層膜を構成したとき、作製された多層膜の磁化容易軸が多層膜の成膜時における磁場印加方向と直交するという、磁化容易軸／困難軸の反転現象が現れる。こうした現象はいわゆる磁歪の逆効果と考えられるが、本発明の高周波磁性薄膜は、その現象に基づいて発現する大きな異方性磁界を示すと共に比抵抗も高くなるので、G H z帯域での高周波特性に優れた磁性薄膜となる。

【0017】

本発明の高周波磁性薄膜は、上記の高周波磁性薄膜において、(i)前記C o系非晶質合金層がC o Z r N b合金で形成されていること、(ii)比抵抗が $150\mu\Omega\text{cm}$ 以上であり、異方性磁界が100 Oe以上であること、(iii)強磁性共鳴周波数が2 G H z以上であること、に特徴を有する。

【0018】

上記第2の目的を達成する本発明の高周波用磁性薄膜の作製方法は、C o系非晶質合金層と当該C o系非晶質合金の自然酸化層とからなる多層膜を印加磁場中で作製する高周波用磁性薄膜の作製方法であって、前記多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合が5～50%の範囲内となるように成膜することを特徴とする。

【0019】

C o系非晶質合金層と自然酸化層とを、多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合が5～50%の範囲内となるように印加磁場中で成膜すると、作製された多層膜の磁化容易軸が多層膜の成膜時における磁場印加方向と直交するという、磁化容易軸／困難軸の反転現象が現れる。こうした現象はいわゆる磁歪の逆効果と考えられるが、本発明の高周波磁性薄膜の作製方法は、その現象に基づいて発現する大きな異方性磁界と高い比抵抗を示す高周波磁性薄膜を作製できるので、G H z帯域での高周波特性に優れた磁性薄膜を極めて容易な方法で作製することができる。

【0020】

本発明の高周波磁性薄膜の作製方法は、上記高周波磁性薄膜の作製方法において、前記C o系非晶質合金層がC o Z r N b合金で形成されることが好ましい。

【0021】

上記第3の目的を達成する本発明の磁気素子は、上述した本発明の高周波用磁性薄膜、又は、上述した本発明の方法で作製された高周波用磁性薄膜、を一部に有することを特徴とする。

【0022】

本発明の磁気素子は、上記磁気素子において、(a)前記高周波用磁性薄膜がコイルを挟持するように対向配置されていること、(b)インダクタ又はトランスに使用されること、(c)モノリシックマイクロ波集積回路に使用されること、が好ましい。

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明の高周波用磁性薄膜は、高い異方性磁界と高い比抵抗を有しているので、例えばMMICに搭載される平面型スパイラルコイルを有するインダクタ等に適用されるG H z帯域用の磁性薄膜として好ましく利用できる。なお、本発明の高周波用磁性薄膜は、室温で成膜したまま(as-deposit)の状態でその性能が得られるので、MMICのような半導体プロセスで製作される高周波集積回路に最適な材料である。

【0024】

また、本発明の高周波用磁性薄膜の製造方法は、磁歪の逆効果と考えられる現象により大きな異方性磁界と高い比抵抗を示す高周波磁性薄膜を作製できるので、G H z帯域での高周波特性に優れた磁性薄膜を極めて容易な方法で作製することができる。

【0025】

また、本発明の磁気素子は、高い異方性磁界と高い比抵抗を有した高周波用磁性薄膜をその一部に備えるので、例えばMMICに搭載されるプレーナ型インダクタ中のスパイラルコイルにその高周波用磁性薄膜を適用した場合には、そのインダクタはG H z帯域に共

鳴周波数を有した磁気素子となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の高周波用磁性薄膜及びその作製方法並びに磁気素子について、図面を参照しつつ説明する。なお、以下に説明する実施形態により本発明の範囲は制限されない。

【0027】

図1は、本発明の高周波用磁性薄膜の断面形態の一例を示す模式断面図である。

【0028】

本発明の高周波用磁性薄膜1は、図1に示されるように、Co系非晶質合金層2と、そのCo系非晶質合金の自然酸化層3とが交互に積層された多層膜である。そして、その特徴は、多層膜全体の体積に対する自然酸化層3の割合が5～50%であることにある。

【0029】

(Co系非晶質合金層)

Co系非晶質合金層2は、Co系非結晶質合金で形成される。Co系非結晶質合金は、透磁率が高く且つ高抵抗(比抵抗が $100\sim 120\mu\Omega\text{cm}$)であるため、高周波域での渦電流損失の抑制に効果があり、本発明において好ましく適用される。Co系非結晶質合金は、単層膜で透磁率1000以上(10MHz)、飽和磁化10kG(1.0T)以上、比抵抗 $100\mu\Omega\text{cm}$ 以上の特性を有するものであることが望ましい。

【0030】

このCo系非結晶質合金は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta及びWの群から選択される1種又は2種以上の添加元素を含んでおり、非晶質相を主体として構成されている。なお、非晶質合金乃至非晶質相とは、一般に、X線回折測定において得られる回折パターンが顕著な結晶性ピークを有しない態様として表れるものであり、いわゆるブロードな回折ピークが表れるものをいう。

【0031】

Co系非晶質合金に添加される元素の割合(2種以上の場合は総和量)は、通常5～50at%、好ましくは10～30at%である。添加元素の割合が50at%を超えると、飽和磁化が小さくなるという不都合が生じる。一方、添加元素の割合が5at%未満では、磁歪の制御が困難となり、有効な軟磁気特性が得られなくなるという不都合が生じる。

【0032】

Co系非結晶質合金としては、例えば、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMo等が挙げられる。特に好ましくは、CoZrNbが挙げられる。

【0033】

(自然酸化層)

自然酸化層3は、上述したCo系非結晶質合金層2の表面が酸素と接触することによって自然に生成する酸化層のことであり、例えば、大気中、純水中又は薬液中で形成される酸化層の他、成膜装置内の残留酸素や残留水分により形成される酸化層も含まれる。

【0034】

形成される自然酸化層3は、通常、0.1～2.0nm程度の厚さであり、自然酸化層であるためにあまり厚くは形成されない。また、その比抵抗は、およそ $10^3\sim 10^6\mu\Omega\text{cm}$ 程度である。

【0035】

(多層膜)

本発明に係る多層膜1は、Co系非晶質合金層2と自然酸化層3とを交互に積層して形成される。具体的には、成膜時に一定方向から磁場を印加しながら基板上にCo系非晶質合金層2を形成する工程と、そのCo系非晶質合金層の表面に自然酸化層3を形成する工

程とを交互に行うことにより形成される。

【0036】

多層膜1は、真空薄膜形成方法、特にスパッタ法により形成されることが好ましい。より具体的には、RFスパッタ、DCスパッタ、マグネトロンスパッタ、イオンビームスパッタ、誘導結合RFプラズマ支援スパッタ、ECRスパッタ、対向ターゲット式スパッタ等が用いられる。なお、スパッタリングはあくまで本発明の一態様であり、他の薄膜作成プロセスを適用できることは言うまでもない。

【0037】

Co系非晶質合金層を堆積させるためのターゲットとしては、Coターゲット上に、所望の添加元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いたり、所望の添加成分を含有するCo合金のターゲットを用いればよい。

【0038】

なお、本発明の多層膜1が形成される基板4（図1を参照）としては、ガラス基板、セラミクス材料基板、半導体基板、樹脂基板等が例示できる。セラミクス材料としては、アルミナ、ジルコニア、炭化珪素、窒化珪素、窒化アルミニウム、ステアタイト、ムライト、コージライト、フォルステライト、スピネル、フェライト等が挙げられる。中でも熱伝導率が大きく、曲げ強度も大きい窒化アルミニウムを用いることが好ましい。

【0039】

また、本発明の多層膜は、室温（約15～35℃）で成膜したままの状態での性能が発揮できるので、MMICのような半導体プロセスで製作される高周波集積回路に最適な材料である。従って、基板としては、Si、GaAs、InP、SiGe等の半導体基板が例示できる。

【0040】

多層膜1はこうしたプロセスを繰り返すことによって形成され、その層数は特に制限されず、また、多層膜全体の厚さについても特に制限されない。なお、Co系非晶質合金層2とその自然酸化層3とからなる多層膜1の比抵抗は $150\mu\Omega\text{cm}$ 以上となり、また、多層膜1の異方性磁界 H_k は100Oe（エルステッド。1Oe=79.6A/m）以上となる。比抵抗が $150\mu\Omega\text{cm}$ 以上になる理由は、Co系非晶質合金層2自体の比抵抗が $100\mu\Omega\text{cm}$ 以上であり、さらに自然酸化層3の比抵抗が $10^3\mu\Omega\text{cm}$ 以上であるからである。また、異方性磁界が100Oe以上となる理由は、以下に示す磁化反転現象に基づくものと考えられる。

【0041】

すなわち、本発明の多層膜1において、多層膜全体の体積に対する自然酸化層3の割合が5～50%の範囲内にある場合には、作製された多層膜1の磁化容易軸が、その多層膜の成膜時における磁場印加方向と直交する（90°ずれることをいう。）磁化反転現象が現れる。こうした現象は、いわゆる磁歪の逆効果現象と考えられる。なお、多層膜全体の体積に対する自然酸化層3は、好ましくは10%以上45%以下である。

【0042】

図2は、成膜時に一定方向から磁場を印加しながら基板上に成膜して得られた厚さ50nmでのCoZrNb薄膜のヒステリシス曲線を示すグラフであり、図3は、得られたCoZrNb薄膜の共鳴周波数特性を示すグラフである。また、図4は、成膜時に一定方向から磁場を印加しながら基板上に成膜して得られた厚さ8nmのCoZrNb薄膜と厚さ1nmの自然酸化層とからなる厚さ450nmの多層膜のヒステリシス曲線を示すグラフであり、図5は得られた多層膜の共鳴周波数特性を示すグラフである。なお、図4及び図5に使用した多層膜において、多層膜全体の体積に対する自然酸化層の体積は11%である。

【0043】

図2中に示したように、CoZrNb薄膜においては、成膜時に印加される磁場の方向が磁化容易軸と一致するのが一般的であり、従って、磁化困難軸は磁化容易軸と直交する。しかし、CoZrNb薄膜は、比抵抗が $120\mu\Omega\text{cm}$ と比較的高いものの、異方性磁

界 H_k は 150 e と小さいので、図 3 に示すように、共鳴周波数特性 f_r は 1 GHz を超えたところで落ち込んでしまう。

【0044】

一方、図 3 に示したように、CoZrNb 薄膜／自然酸化層の多層膜においては、成膜時に印加される磁場の方向と磁化容易軸とは一致せず、両者は直交している。言い換えれば、成膜時に印加される磁場の方向と磁化困難軸とが一致する。このとき、得られた多層膜は、比抵抗が $180 \mu\Omega\text{cm}$ と高く、しかも、異方性磁界 H_k も 1050 e と高くなっている。その異方性磁界 H_k が大きいほど高周波特性に優れた多層膜が得られることから、実際には図 5 に示すように、共鳴周波数特性 f_r は 2 GHz を超えても、落ち込みが生じないという効果がある。

【0045】

本発明の多層膜において、自然酸化層 3 の割合が全体の 5% 未満では、そうした磁化反転現象が現れないことがある。一方、自然酸化層 3 の割合が全体の 50% を超えた場合は、非磁性成分の割合が磁性成分の割合より多くなるため、難磁性材料としての使用が困難である。

【0046】

(多層膜の高周波特性)

本発明の多層膜は、上述した構造を有するので、比抵抗が $150 \mu\Omega\text{cm}$ 以上、異方性磁界が 1000 e 以上、強磁性共鳴周波数が 2 GHz 以上という優れた高周波特性を有している。このような特性は、熱処理等を施さない成膜のままの状態を得ることができる。

【0047】

(磁気素子)

本発明の磁気素子は、上述した高周波用磁性薄膜をその一部に備えていることに特徴がある。

【0048】

図 6 は、平面型の磁気素子をインダクタに応用した一例である。図 6 (A) はインダクタの平面図を模式的に示したものであり、図 6 (B) は図 6 (A) の A-A 矢視断面を模式的に示したものである。

【0049】

これらの図面に示されるインダクタ 10 は、基板 11 と、この基板 11 の両面にスパイラル状に形成された平面コイル 12、12 と、これらの平面コイル 12、12 と基板 11 面を覆うように形成された絶縁膜 13、13 と、これらの各々の絶縁膜 13、13 の上を覆うように形成された一対の本発明の高周波用磁性薄膜 1 とを備えている。そして、上記 2 つの平面コイル 12、12 は、基板 11 の略中央部分に形成されたスルーホール 15 を介して電氣的に接続されている。さらに、基板 11 の両面の平面コイル 12、12 からそれぞれ接続のための端子 16 が基板 11 の外方に引き出されている。このようなインダクタ 10 は、一対の高周波用磁性薄膜 1 によって、絶縁膜 13、13 を介して平面コイル 12、12 を挟むように構成されているので、接続端子 16、16 間にインダクタが形成される。

【0050】

このように形成されたインダクタは、小型かつ薄型軽量であり、特に 1 GHz 以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。なお上記説明したインダクタ 10 において、平面コイル 12、12 を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

【0051】

図 7 は、本発明の平面型磁気素子をインダクタに応用した他の一例を示す断面模式図である。

【0052】

この図に示されるインダクタ 20 は、基板 21 と、この基板 21 の上に必要に応じて形成される酸化膜 22 と、この酸化膜 22 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1 a と、この高周波用磁性薄膜 1 a の上に形成された絶縁膜 23 を備え、さらにこの絶縁膜 2

3の上に形成された平面コイル24と、これらの平面コイル24と絶縁膜23を覆うように形成された絶縁膜25と、この絶縁膜25の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜1bとを有している。このように形成されたインダクタ20もやはり、小型かつ薄型軽量であり、特に1GHz以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。そしてこのようなインダクタ20において、平面コイル24を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

【0053】

図8及び図9は、本発明の高周波用磁性薄膜1をMMIC用インダクタとして応用した実施例であり、図8はインダクタの導体層部分を抜き出した平面図を模式的に示したものであり、図9は図8のA-A矢視断面を模式的に示した図面である。

【0054】

これらの図面で示されているインダクタ30は、基板31と、この基板31の上に必要に応じて形成される絶縁酸化膜32と、その絶縁酸化膜32の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜1aと、この高周波用磁性薄膜1aの上に形成された絶縁膜33を備え、さらにこの絶縁膜33の上に形成されたスパイラルコイル34と、このスパイラルコイル34と絶縁膜33を覆うように形成された絶縁膜35と、この絶縁膜35の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜1bとを有している。

【0055】

また、スパイラルコイル34は、配線36を介して一対の電極37に接続されている。そして、スパイラルコイル34を囲むように設けられた一対のグラウンドパターン39は、それぞれ一対のグラウンド電極38に接続され、グラウンド—シグナル—グラウンド(G—S—G)タイプのプローブにより、ウェハ上で周波数特性を評価する形状を有している。

【0056】

本実施の形状にかかるMMIC用インダクタにおいては、磁芯となる高周波用磁性薄膜1a、1bでもってスパイラルコイル34が挟み込まれた有芯構造を採用している。そのため、スパイラルコイル34が同じ形状でありながらも高周波用磁性薄膜1a、1bが形成されていない空芯構造のインダクタに比べ、インダクタンス値が約50%向上される。従って、同じインダクタンス値を得るために必要なスパイラルコイル34の占有面積は小さくてもよいことになり、その結果としてスパイラルコイル34の小型化が実現できる。

【0057】

ところで、MMIC用インダクタに適用する磁性薄膜の材料としては、GHz帯域の高周波数で高透磁率、かつ高い性能指数Q(低損失)特性を持つことや、半導体製造プロセスによる集積化が可能であることが求められる。

【0058】

GHz帯域の高周波数における高透磁率を実現するためには、共鳴周波数が高く、かつ飽和磁化が大きい材質が有利であり、一軸磁気異方性の制御が必要である。また、高い性能指数Qを得るためには、高抵抗化による渦電流損失の抑制が重要である。さらに、集積化プロセスに適用するためには、室温で成膜でき成膜のままの状態で使用できることが望ましい。すでにセッティングされている他のオンチップコンポーネントの性能および作成プロセスに加熱による悪影響を及ぼさないようにするためである。

【実施例】

【0059】

以下、本発明を実施例と比較例によりさらに詳細に説明する。

【0060】

(実施例1)

実施例1の高周波用磁性薄膜を以下の成膜手法に従って作製した。

【0061】

まず、Siウェハの上にSiO₂を500nmの厚さに成膜したものを基板として用いた。次に、対向ターゲット式スパッタ装置を用いて、下記の要領で基板上に高周波用磁性

薄膜を成膜(deposit)させた。すなわち、対向ターゲット式スパッタ装置内を 8×10^{-5} Paまで予備排気した後、圧力が10 PaになるまでArガスを導入した後、100 WのRFパワーで10分間、基板表面をスパッタエッチングした。次いで、圧力が0.4 PaになるようにArガスの流量を調整し、300 WのパワーでCo₈₇Zr₅Nb₈ターゲットをスパッタリングしてCo₈₇Zr₅Nb₈組成からなる非晶質膜を作製した。

【0062】

次いで、自然酸化層を形成した。自然酸化層は、各金属層を成膜した後、スパッタ装置内部に2 sccmのO₂ガスを30秒間導入し金属層の表面を酸化させることで形成した。自然酸化層を形成してから、スパッタ装置を 10^{-4} Pa台まで排気した。

【0063】

成膜時には基板に0～-80 VのDCバイアスを印加した。また、ターゲット表面の不純物の影響を防止するためにシャッターを閉めた状態で10分以上プリスパッタリングを行った。その後、シャッターを開けることにより基板上に成膜を行った。成膜速度(rate)は、CoZrNb層の成膜時で0.33 nm/秒とした。シャッターの開閉時間を制御することでCo系非晶質合金層の膜厚を調整した。

【0064】

成膜は、約350 eVの強さの磁界を印加しながら、まず、基板上の第1層目として厚さ8.0 nmのCoZrNb層を成膜した後、その上に第2層目として厚さ1.0 nmの自然酸化層を形成し、さらにその自然酸化層上にCoZrNb層を成膜するという成膜サイクルを50回繰り返して、表1に示す特性の磁性薄膜(実施例1)を得た(総厚さ: 450 nm)。このとき、多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合は11%であった。

【0065】

上述した図4は、実施例1で得られた磁性薄膜のヒステリシス曲線であり、図5は、その磁性薄膜の高周波特性である。得られた磁化曲線から明らかなように、堆積膜では、印加磁場の方向と磁化容易軸方向とが90°ずれる(直交する)現象が確認された。飽和磁化は10.1 kG (1.01 T)、磁化容易軸方向の保磁力は0.80 e (63.7 A/m)、磁化困難軸方向の保磁力は4.80 e (382 A/m)が得られた。また、異方性磁界H_kは1050 e (8360 A/m)であった。図5の高周波透磁率特性のグラフより、共鳴周波数は測定限界の3 GHzを超えており、透磁率の実数部(μ')の値として、1.0 GHzでは80の値が得られた。また、比抵抗は180 $\mu\Omega\text{cm}$ であった。なお、高周波透磁率の測定は、超高周波帯域透磁率測定装置(菱和電子、PMF-3000)を用い、磁気特性は振動試料型磁力計(理研電子、BHV-35)を用いて測定した。

【0066】

(実施例2)

上記実施例1の成膜手法に基づき、2.3 nm厚のCoZrNbと、1.0 nmの自然酸化層とを交互に121回ずつ順次形成して総膜厚400 nm(合計242層相当)の本発明の磁性薄膜(実施例2)を形成した。このとき、多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合は30%であった。

【0067】

得られた磁性薄膜の磁気特性を表1に示した。飽和磁化は8.0 kG (0.80 T)、磁化容易軸方向の保磁力は17.60 e (1400 A/m)、磁化困難軸方向の保磁力は370 e (2950 A/m)であった。高周波透磁率特性は、透磁率の実数部(μ')の値として、1.0 GHzでは40の値が得られ、また、比抵抗は860 $\mu\Omega\text{cm}$ であった。

【0068】

(実施例3)

上記実施例1の成膜手法に基づき、1.6 nm厚のCoZrNb層を成膜後、スパッタ装置内部に5 sccmのO₂ガスを30秒間導入し金属層の表面を酸化させることで1.3 nmの自然酸化層を形成した。1.6 nm厚のCoZrNb層と1.3 nmの自然酸化層を交互に138回ずつ順次形成して総膜厚400 nm(合計276層相当)の本発明の

磁性薄膜（実施例 3）を形成した。このとき、多層膜全体の体積に対する自然酸化層の割合は 45% であった。

【0069】

得られた磁性薄膜の磁気特性を表 1 に示した。飽和磁化は 6.3 kG (0.63 T)、磁化容易軸方向の保磁力は 22 Oe (1750 A/m)、磁化困難軸方向の保磁力は 41 Oe (3260 A/m) であった。高周波透磁率特性は、透磁率の実数部 (μ') の値として、1.0 GHz では 25 の値が得られ、また、比抵抗は 1416 $\mu\Omega\text{cm}$ であった。

【0070】

(比較例 1)

上記実施例 1 の成膜手法に基づき、500 μm 厚の CoZrNb 膜を単層形成し、比較例 1 の磁性薄膜を形成した。

【0071】

上記の実施例に準じた方法によって、当該磁性薄膜の物性値を求めたところ、表 1 に示すように、11.5 kG (1.15 T) の飽和磁化、1.3 Oe (104 A/m) の磁化容易軸方向の保磁力、0.9 Oe (71.6 A/m) の磁化困難軸方向の保磁力がそれぞれ得られた。高周波透磁率特性は、透磁率の実数部 (μ') の値として、1.0 GHz では 1000 の値が得られ、また、比抵抗は 120 $\mu\Omega\text{cm}$ であった。

【0072】

(結果)

これらの結果を含めた測定値を表 1 にまとめて示した。表 1 に示すように、本発明による各実施例は、高共鳴周波数かつ高抵抗の特性を得ることができる。

【0073】

なお、図 10 は、磁化反転現象の確認実験結果を示している。この確認実験では、振動試料型磁力計（理研電子、BH V-35）装置を用い、試料を面内方向で回転（成膜中磁場印加方向に対する角度ズレを ϕ として示す）しながら残留磁化 (M_r) を測定し、その値を飽和磁化 (M_s) で規格して表記した。実施例 1～3 の磁性薄膜と比較例 1 の磁性薄膜とを対比した結果、図示したように、両者の磁化容易軸には 90° のズレがあった。すなわち、実施例 1～3 においては、成膜時の磁場印加方向と得られた磁性薄膜の磁化容易軸方向とは直交しているが、比較例 1 においては、成膜時の磁場印加方向と得られた磁性薄膜の磁化容易軸方向とは平行であることが確認された。

【0074】

【表 1】

	自然酸化層 vol%	CoZrNb層厚さ (nm)	自然酸化層厚さ (nm)	飽和磁化 (kG)	Hce (Oe)	Hch	Hk (Oe)	fr (GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	μ at 1GHz
実施例1	11	8	1	10.1	0.8	4.8	105	~3	180	80
実施例2	30	2.3	1	8	17.6	37	200	2.5	860	40
実施例3	45	1.6	1.3	6.3	22	41	>250	>3	1416	25
比較例1	0	500	0	11.5	1.3	0.9	15	1.25	120	1000

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図 1】 本発明の高周波用磁性薄膜の断面形態の一例を示す模式図である。

【図 2】 成膜時に一定方向から磁場を印加しながら基板上に成膜して得られた CoZrNb 薄膜のヒステリシス曲線を示すグラフである。

【図 3】 得られた CoZrNb 薄膜の共鳴周波数特性を示すグラフである。

【図 4】 成膜時に一定方向から磁場を印加しながら基板上に成膜して得られた CoZ

rNb 薄膜と自然酸化層とからなる多層膜のヒステリシス曲線を示すグラフである。

【図 5】得られた多層膜の共鳴周波数特性を示すグラフである。

【図 6】平面型の磁気素子をインダクタに応用した一例である。

【図 7】本発明の平面型磁気素子をインダクタに応用した他の一例を示す断面模式図である。

【図 8】インダクタの導体層部分を抜き出した模式的な平面図である。

【図 9】図 8 の A-A 矢視断面の模式図である。

【図 10】磁化反転現象の確認実験結果である。

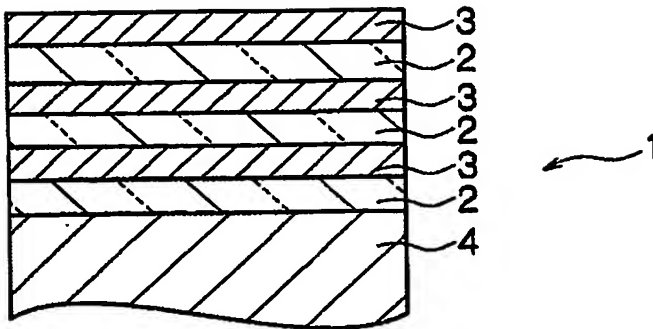
【符号の説明】

【0076】

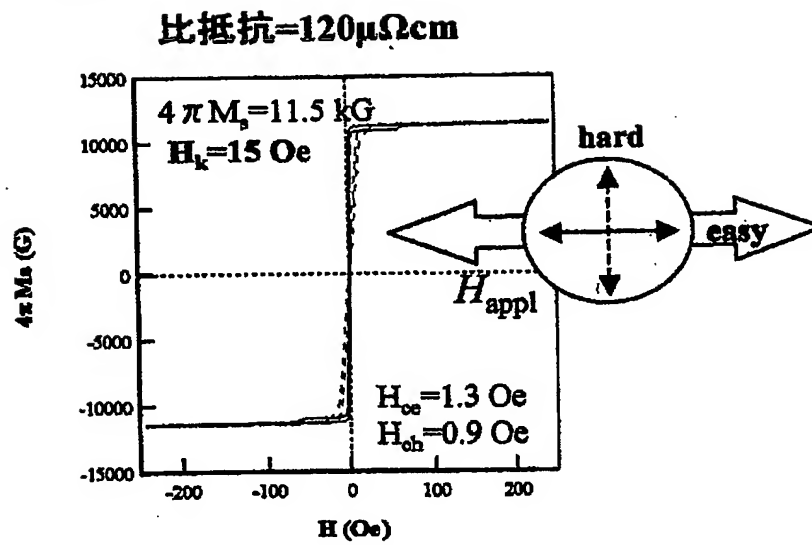
- 1、1a、1b 高周波用磁性薄膜（多層膜）
- 2 Co系非晶質合金層
- 3 自然酸化層
- 4、11、21、31 基板
- 10、20、30 インダクタ
- 12、24 平面コイル
- 13、23、25、33、35 絶縁膜
- 15 スルーホール
- 16 接続端子
- 22、32 酸化膜
- 34 スパイラルコイル
- 36 配線
- 38 グラウンド電極
- 39 グラウンドパターン

【書類名】 図面

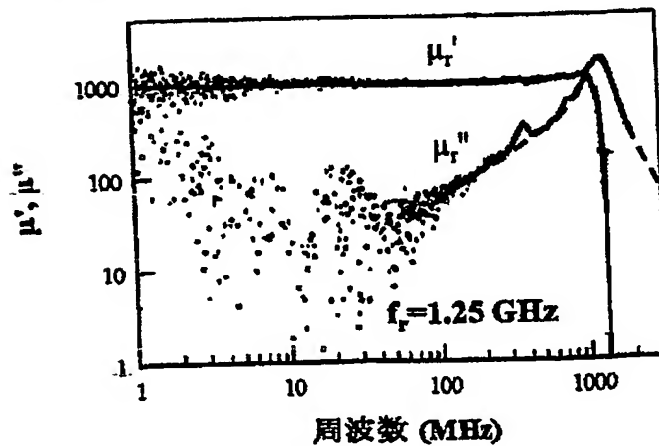
【図 1】



【図 2】

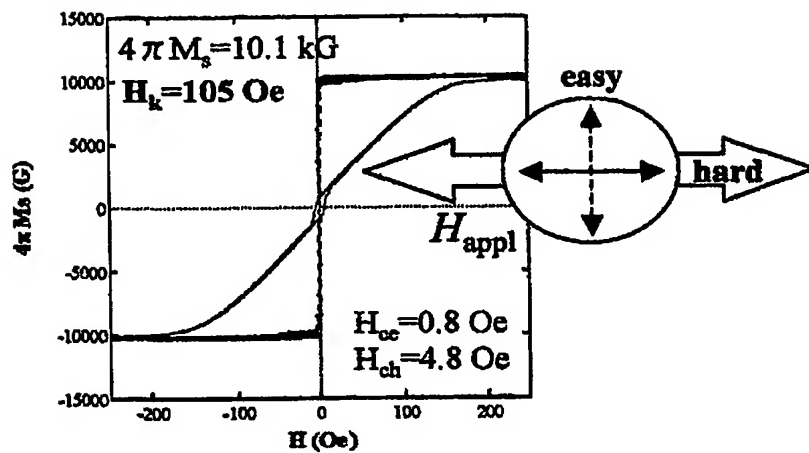


【図 3】

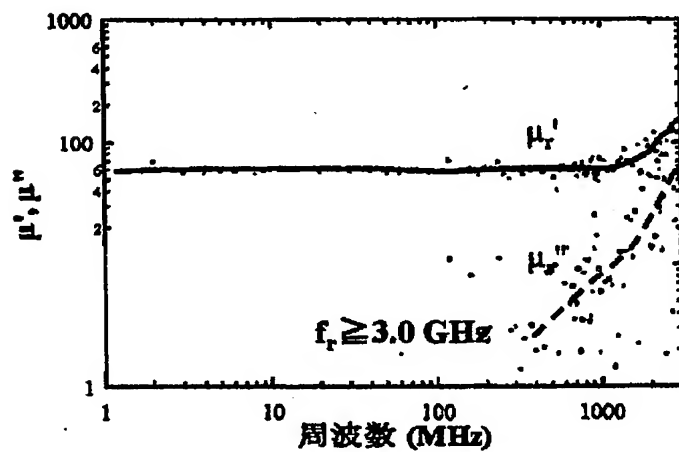


【図 4】

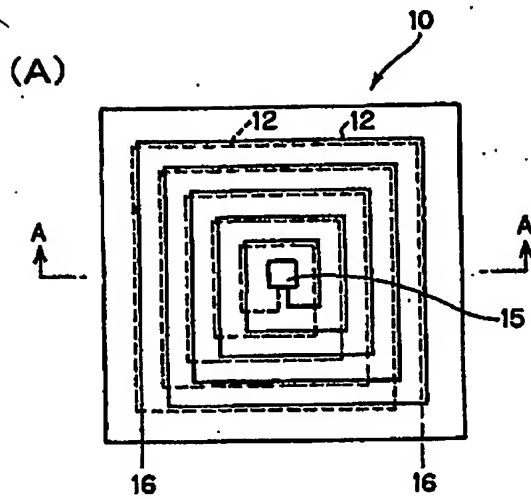
比抵抗=180 $\mu\Omega\text{cm}$



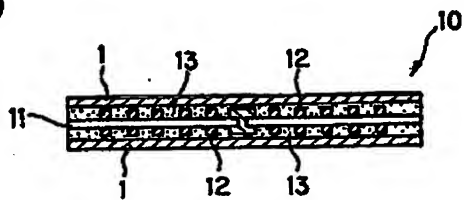
【図 5】



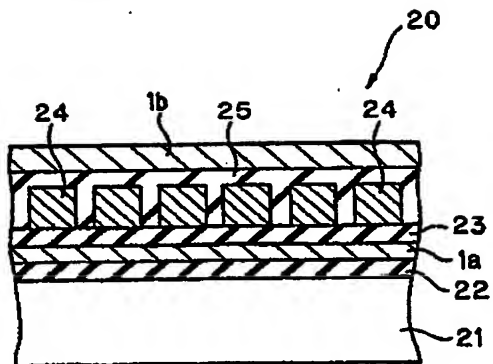
【図 6】



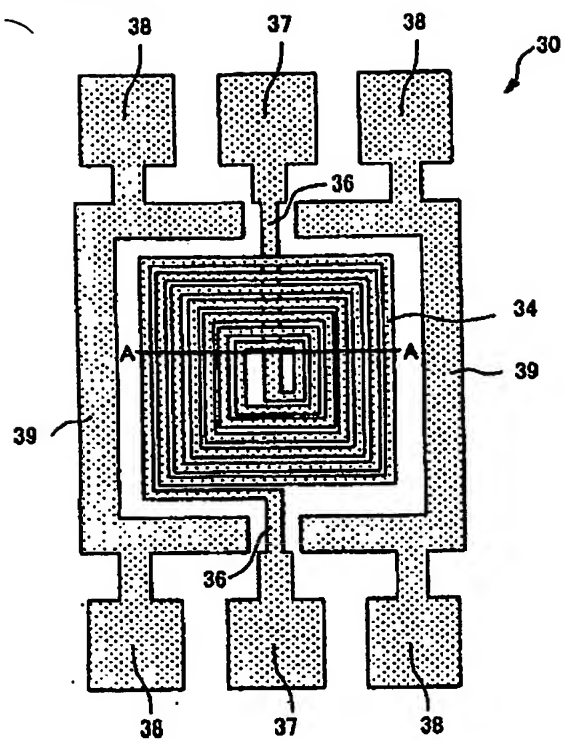
(B)



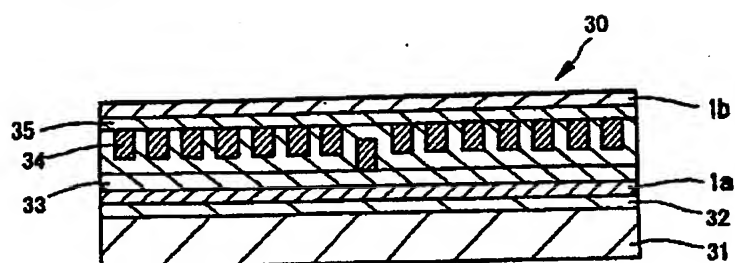
【図 7】



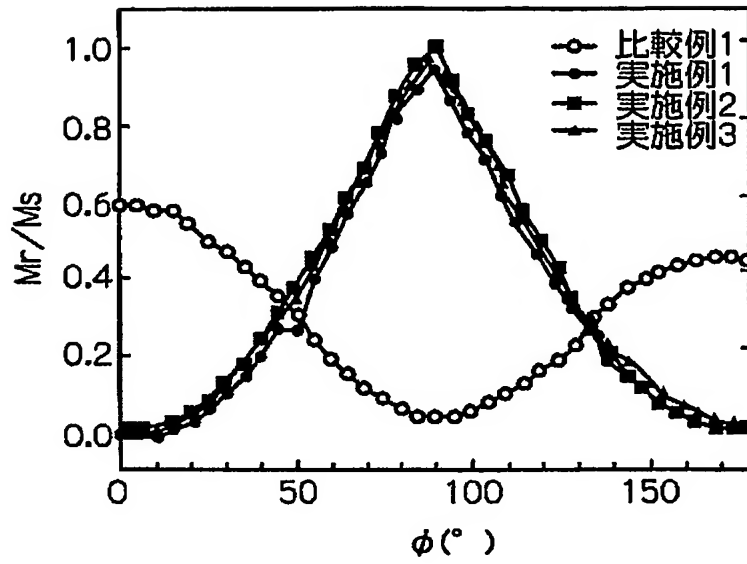
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 GHz帯域の高周波領域で利用できる高周波用磁性薄膜及び磁気素子を提供する。

【解決手段】 Co系非晶質合金層2と、そのCo系非晶質合金2の自然酸化層3とからなる多層膜であって、その多層膜全体の体積に対する自然酸化層3の割合を5～50%とすることにより、上記課題を解決した。また、成膜時における磁場印加方向が磁化容易軸となる性質をもつCo系非晶質合金層2と、そのCo系非晶質合金の自然酸化層3とからなる多層膜であって、作製された多層膜の磁化容易軸が、その多層膜の成膜時における磁場印加方向と直交する磁性薄膜により、上記課題を解決した。

【選択図】 図1

特願 2003-342470

出願人履歴情報

識別番号

[000003067]

1. 変更年月日

2003年 6月27日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

氏 名

TDK株式会社